

О. К. Головки

ВПЛИВ ДОМІШОК НА ЧАС ЖИТТЯ НОСІЇВ ЗАРЯДУ В МОНОКРИСТАЛАХ КРЕМНІЮ

У статті на підставі експериментальних досліджень встановлено, що на час життя нерівноважних носіїв заряду в монокристалах кремнію, вирощених у промислових умовах, найбільше впливає співвідношення концентрацій домішок кисню й вуглецю

Ключові слова: кремній, кисень, вуглець, час життя

1. Вступ

Дослідження, про які йдеться у доповіді, відносяться до галузі фізики напівпровідників та технології напівпровідникових матеріалів.

Виробництво в Україні монокристалів кремнію, призначених для сонячної енергетики, передбачає вирішення низки завдань, пов'язаних з пошуком оптимальних технологічних режимів їх вирощування, які забезпечують задані рівні часу життя нерівноважних носіїв заряду в монокристалах кремнію. Вирішення цих завдань дає можливість підвищити якість монокристалів кремнію для сонячної енергетики та забезпечити конкурентоспроможність цього продукту високих технологій на світовому ринку.

Тому дослідження, про які йдеться в доповіді, є актуальними.

2. Постановка проблеми

Типова вимога до величини часу життя нерівноважних носіїв заряду $\tau_{\text{ннз}}$ в монокристалічному кремнії, призначеному для виготовлення фотовольтаїчних елементів (сонячних батарей) є досить м'якими – $\tau_{\text{ннз}} \geq 10$ мкс [1]. Проблемою є те, що зважаючи на підвищений вміст домішок в монокристалах кремнію «сонячної» якості, навіть такі м'які вимоги до $\tau_{\text{ннз}}$ виконати не легко.

3. Основна частина

3.1. Аналіз літературних джерел по темі дослідження

Величина часу життя нерівноважних носіїв заряду є інтегрованим показником кількості неконтрольованих забруднюючих домішок та комплексів, що слугують пастками для носіїв заряду. Монокристали кремнію для сонячних елементів вирощують за методом Чохральського. З метою зниження собівартості монокристалів кремнію, призначених для виготовлення сонячних елементів, для їх ви-

рощування використовується дешевша сировина – менш чистий полікристалічний кремній [2-7]. Домішки потрапляють в монокристал з розплаву кремнію. Специфікою методу Чохральського є додаткове надходження в розплав кремнію в процесі його вирощування кисню та вуглецю. В кристалічній решітці кремнію безпосередньо атоми цих двох домішок є електронейтральними. Проте вони опосередковано, через активну участь у комплексоутворенні, впливають на величину $\tau_{\text{н.н.з.}}$. Вважається [1], що домішка кисню сприяє досягненню в монокристалі кремнію високих значень $\tau_{\text{н.н.з.}}$, а вуглецю – зменшенню $\tau_{\text{н.н.з.}}$, тобто ці дві домішки протилежно впливають на величину $\tau_{\text{ннз}}$. Тому вважаємо за доцільне простежити вплив на $\tau_{\text{ннз}}$ співвідношення концентрацій цих двох комплексують домішок

3.2. Результати досліджень

Досліджені монокристали кремнію, леговані бором, що були вирощені за методом Чохральського в промислових умовах в установці типу «Редмет – 30» з використанням енергозберігаючого теплового вузла [8] в атмосфері аргону. Кристалографічна орієнтація монокристалів – $\langle 100 \rangle$, діаметр – 135,0 мм. Концентрацію оптично активних атомів кисню та вуглецю в монокристалі кремнію вимірювали стандартним методом поглинання інфрачервоного випромінювання. Величину часу життя нерівноважних носіїв заряду $\tau_{\text{ннз}}$ в монокристалі кремнію вимірювали стандартним індикаторним методом [9].

У рамках попередніх досліджень [10] було показано, що концентрації основних домішок в розплаві кремнію змінюються на протязі спрямованої кристалізації, яка відбувається в методі Чохральського. Тому порівняно з початковою частиною монокристала в його кінцевій частині концентрація кисню приблизно в два рази менша, а вуглецю – в три рази більша. Таким чином, за довжиною монокристала змінюються не тільки рівень концентрацій основних домішок, а й їх співвідношення.

Статистичний аналіз результатів вимірів показав,

що величина часу життя нерівноважних носіїв заряду має значний розкид від одного монокристала до іншого. Зв'язок величини $\tau_{\text{ннз}}$ з концентрацією домішок прослідкуємо за експериментальними даними для шістьох монокристалів марки КДБ 0,5-1,7/10. Три монокристали були вирощені поспідовно один за одним в установці №1, а три інших - в установці №2. Розподіл величини $\tau_{\text{ннз}}$ в цих монокристалах за їх довжиною характеризується чималим розкидом, але дані величини $\tau_{\text{ннз}}$ в функції від співвідношення концентрацій домішок кисню N_O й вуглецю N_C дають розкид, який лежить в межах похибки вимірювань -10 % (рис. 1).

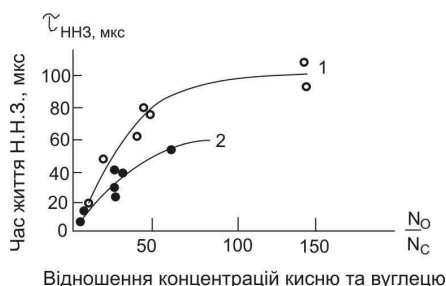


Рис.1. Графіки залежностей $\tau_{\text{ннз}} = f(N_O/N_C)$ для монокристалів кремнію, призначених для виготовлення сонячних елементів

1- монокристали, вирощені в установці №1; 2 - в установці №2

Вдвічі більші значення $\tau_{\text{ннз}}$ в монокристалах, вирощених в установці №1, ніж в установці №2, можна пояснити тим, що вже в своєму першому перетині ($x = 1$ см) вони мають значно меншу концентрацію вуглецю ($N_{C1} = 1,2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$), (в установці №2 - $N_{C2} = 2,8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$). Така відмінність є наслідком використання в цих двох установках підставок для кварцового тигля з графіту неоднакової марки.

3.3. Висновки

За експериментальними даними показано, що значення величини часу життя нерівноважних носіїв заряду $\tau_{\text{ннз}}$ в монокристалах кремнію, вирощуваних у промислових умовах, визначається співвідношенням концентрацій двох комплексують домішок - кисню й вуглецю.

Отримані результати дозволяють внести корективи в програму процесу вирощування монокристалів кремнію за методом Чохральського, спрямовані на збільшення величини часу життя нерівноважних носіїв заряду $\tau_{\text{ннз}}$ в монокристалах і таким чином на підвищення їхньої якості й виходу придатного продукту.

Література

1. Швець, Е.Я. Монокристаллический кремний – основной материал для солнечных элементов [Текст] : зб. наук. пр. / Е.Я. Швець // Металургія. – Запоріжжя: ЗДІА, 2006.

- Вип. 14. – С. 120-127.
2. Швець, Е.Я. Развитие технологии кремниевого сырья для изготовления солнечных батарей [Текст] / Е.Я. Швець, О.П. Головкин, И.Ф. Червоный, Р.Н. Воляр // Теория и практика металлургии, 2006. – № 6. – С. 44-49.
3. Червоный, И.Ф. Особенности технологии материалов для солнечной энергетики [Текст] тез. докл. II Международной конференции, 2-9 июня 2006 г. / И.Ф. Червоный, Р.Н. Воляр, Е.Я. Швець, А.С. Голев // Стратегия качества в промышленности и образовании. - Варна, Болгария, 2006. – Том 1. – С. 294-299.
4. Швець, Е.Я. Технологии и материалы солнечной энергетики [Текст] / Евгений Яковлевич Швець. – Запоріжжя: ЗДІА, 2007. – 239 с.
5. Швець, Е.Я. Анализ технологий производства поликристаллического кремния для солнечных элементов [Текст] : зб. наук. пр. / Е.Я. Швець // Металургія. – Запоріжжя: ЗДІА, 2007. – Вип. 15. – С. 92-98.
6. Швець, Е.Я. Технологии поликристаллического кремния для солнечных элементов [Текст] / Е.Я. Швець // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2007. – № 1. – С. 15-20.
7. Швець, Е.Я. Анализ технологий производства поликристаллического кремния для солнечных элементов [Текст] : зб. наук. пр. / Е.Я. Швець // Металургія. – Запоріжжя: ЗДІА, 2007. – Вип. 15. – С. 92-98.
8. Головкин, Ю.В. Модернизация тепловой системы для выращивания монокристаллов кремния [Текст] / Ю.В. Головкин, А.С. Голев, А.Б. Комаров, Е.Я. Швець, С.Г. Егоров, Р.Н. Воляр // Теория и практика металлургии, 2008. - №2 (63). – С.20-23.
9. Технические условия: ГОСТ 19658-81. Кремний монокристаллический в слитках [Текст]. – Чинний від 01.01.81. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 72 с.
10. Швець, Е.Я. Влияние комплексообразования на коэффициенты розподілу домішок у процесі вирощування монокристалів кремнію [Текст] : зб. наук. пр. / Е.Я. Швець, Ю.В. Головкин. // Металургія. – Запоріжжя: ЗДІА, 2011. – Вип. 25. – С. 124 – 131.

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ НА ВРЕМЯ ЖИЗНИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В МОНОКРИСТАЛЛАХ КРЕМНИЯ

А. К. Головкин

В статье на основании экспериментальных исследований установлено, что на время жизни неравновесных носителей заряда в монокристаллах кремния, выращенных в промышленных условиях, более всего влияет соотношение концентраций примесей кислорода и углерода

Ключевые слова: кремний, кислород, углерод, время жизни

Александр Константинович Головкин, студент, Запорожская государственная инженерная академия, тел. (061) 236-90-80, e-mail: akgolovko@gmail.com

INFLUENCE OF IMPURITY ON THE LIFE PERIOD OF THE CHARGE IN SILICON SINGLE CRYSTALS

A. Golovko

In article on the basis of experimental researches it is established, that on the life period of the nonequilibrium charge carriers in the silicon single crystals which has been growing in industrial conditions, the greatest influence renders the ratio of concentration of impurity of oxygen and carbon

Keywords: silicon, oxygen, carbon, life period

Alexander Golovko, student, Zaporozhye engineering academy, tel. (061) 236-90-80, e-mail: akgolovko@gmail.com